



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 45 185 A 1**

⑤1 Int. Cl.7:  
**G 01 P 21/00**  
G 01 P 9/04

②1 Aktenzeichen: 198 45 185.7  
②2 Anmeldetag: 1. 10. 1998  
④3 Offenlegungstag: 20. 4. 2000

DE 198 45 185 A 1

⑦1 Anmelder:  
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

⑦2 Erfinder:  
Schalk, Josef, 84051 Essenbach, DE; Stenzel, Erwin,  
Dr., 82041 Deisenhofen, DE; Bauer, Karin, Dr., 82041  
Oberhaching, DE; Freitag, Rainer, 73277 Owen, DE;  
Hilser, Roland, 73230 Kirchheim, DE; Voß, Ralf, Dr.,  
82541 Münsing, DE

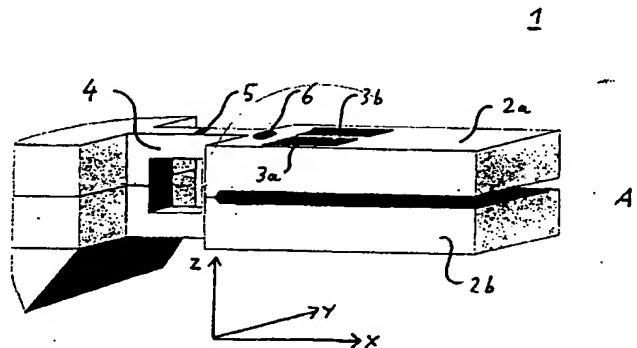
⑤6 Entgegenhaltungen:  
DE 38 09 299 C2  
DE 198 53 063 A1  
JP 07-1 81 042 A  
JP 07-1 81 042 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Sensor mit Resonanzstruktur sowie Vorrichtung und Verfahren zum Selbsttest eines derartigen Sensors

⑤7 Ein selbsttestfähiger Sensor, insbesondere ein Drehratensensor, umfaßt eine schwingfähige Struktur bzw. Resonanzstruktur 2, eine Aktoreinheit (3a, 3b) zur Anregung der Struktur (2) zu einer ersten periodischen Schwingung, ein piezoresistives Element (5) zur Erzeugung eines Ausgangssignals, das von der Meßgröße abhängig ist, und Mittel (5) zur Abtrennung eines Testsignalanteils vom Ausgangssignal, wobei der Testsignalanteil durch eine der ersten Schwingung überlagerte zweite periodische Schwingung der Struktur (2) erzeugt wird. Eine Vorrichtung zum Selbsttest eines Sensors hat Mittel zur Abtrennung (5) eines Testsignalanteils, der einem Nutzsignalanteil überlagert ist, aus dem periodischen Ausgangssignal des Sensors, und Vergleichsmittel zum Vergleichen des Testsignalanteils mit einem vordefinierten Wert oder mit einem dem Sensor zugeführten Testsignal. Zum Selbsttest wird eine erste Schwingung der Struktur (2) mit einer zweiten periodischen Schwingung überlagert und ein Ausgangssignal, das Informationen über die Meßgröße enthält, wird erfaßt. Ein im Ausgangssignal enthaltener Testsignalanteil wird überwacht.



DE 198 45 185 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Sensor gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1, sowie eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Selbsttest eines Sensors.

Allgemein werden Sensoren in Systemen zur Erfassung von Meßgrößen eingesetzt. Auf dem Gebiet der Inertialsensorik werden beispielsweise Drehraten- und Beschleunigungssensoren zur Erfassung von Bewegungsgrößen verwendet. Da es sich zumeist um sicherheitsrelevante Anwendungen handelt, müssen die Sensoren äußerst zuverlässig sein und Meßgrößen sicher erfassen.

In der DE 195 28 961 ist ein Drehratensensor nach dem Stimmgabelprinzip beschrieben, der aus Silizium gefertigt ist. Im Betrieb werden die Stimmgabeln zu Schwingungen angeregt und ein Sensorelement registriert eine Torsion der Stimmgabelaufhängung, die bei einer Drehung des Sensors um eine zur Stimmgabelaufhängung parallele Achse auftritt.

Um z. B. Störungen des Sensors oder eine Drift zu erkennen ist es notwendig, daß der Sensor während des Betriebs Tests unterzogen wird. Dadurch wird die Sicherheit und Genauigkeit der erfaßten Meßgröße erhöht.

In der EP 0708 925 ist eine Vorrichtung zur Fehlererkennung in einem Aufallsensorsystem beschrieben, bei der durch Betätigen eines Sensorelements eine Testreaktion erzeugt wird und das Ergebnis mit dem Ergebnis einer zu erwartenden Reaktion verglichen wird. In der US 5,060,504 ist ein Verfahren zur Selbstkalibrierung eines Beschleunigungssensors gezeigt, bei dem eine Sensormasse relativ zu einem Rahmen verschoben wird, wobei die Verschiebung einer bekannten Beschleunigung entspricht. Dabei wird der Ausgangswert als Referenzwert für eine nachfolgende Kalibrierung benutzt. Auch bei dem selbsttestfähigen Beschleunigungssensor, der in der US 5,103,667 beschrieben ist, wird zum Testen oder Kalibrieren des Sensors eine Masse definiert bewegt und die Bewegung gemessen.

Die bekannten Systeme haben jedoch den Nachteil, daß der eigentliche Meßvorgang während des Sensortests unterbrochen werden muß. Es wird zeitlich alternierend gemessen und getestet, weshalb das Meßsignal nicht zeitkontinuierlich vorliegt. Weiterhin wird nur eine bestimmte, vordefinierte Meßgröße zum Vergleich erzeugt, d. h. es erfolgt kein Test über den gesamten Meßbereich des Sensors.

Es daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Sensor zu schaffen und eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Selbsttest eines Sensors anzugeben, bei dem während des Tests keine Unterbrechung der Messung bzw. Beeinträchtigung des Meßsignals erfolgt und der Selbsttest zeitkontinuierlich während des Meßbetriebs durchgeführt werden kann.

Diese Aufgabe wird gelöst durch den Sensor gemäß Patentanspruch 1, die Vorrichtung zum Selbsttest eines Sensors gemäß Patentanspruch 7 und das Verfahren zum Selbsttest eines Sensors gemäß Patentanspruch 12. Weitere vorteilhafte Merkmale, Aspekte und Details der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen.

Der erfindungsgemäße Sensor umfaßt eine schwingfähige Struktur zur Erfassung einer Meßgröße, eine Aktoreinheit zur Anregung der Struktur zu einer ersten periodischen Schwingung, ein Element zur Erzeugung eines von der Meßgröße abhängigen Ausgangssignals, und Mittel zur Erfassung bzw. Abtrennung eines Testsignalanteils vom Ausgangssignal, der durch eine der ersten Schwingung überlagerte zweite periodische Schwingung der Struktur erzeugt wird. Der Sensor ist selbsttestfähig und in der Lage, ein zeitkontinuierliches Meßsignal und gleichzeitig ein Testsignal, das Auskunft über die Funktionsfähigkeit des Sensors gibt,

zu liefern. Es erfolgt keine Unterbrechung der Messung bzw. Beeinträchtigung des Meßsignals.

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird eine Vorrichtung zum Selbsttest eines Sensors geschaffen, wobei der Sensor eine Meßgröße über eine schwingfähige Struktur erfaßt und in Abhängigkeit von der Meßgröße ein periodisches Ausgangssignal erzeugt, und wobei die Vorrichtung zum Selbsttest Mittel zur Abtrennung eines Testsignalanteils, der einem Nutzsignalanteil überlagert ist, aus dem periodischen Ausgangssignal des Sensors aufweist, sowie Vergleichsmittel zum Vergleichen des Testsignalanteils mit einem vordefinierten Wert oder mit einem dem Sensor zugeführten Testsignal. Mit der Vorrichtung kann ein Sensor-Selbsttest durchgeführt werden, der zeitkontinuierlich ist und im vollen Meß- und Dynamikbereich des Sensors erfolgen kann, ohne die eigentliche Meßaufgabe zu beeinflussen.

Vorteilhafterweise umfaßt der Sensor bzw. die Vorrichtung eine Einrichtung zum Aufmodulieren eines Testsignals auf ein Signal zur Anregung der schwingfähigen Struktur. Dadurch kann der Selbsttest über den gesamten Meßbereich des Sensors abgestimmt werden.

Der Sensor kann eine mechanische Unwucht bzw. ein Übersprechen aufweisen, das den Testsignalanteil verursacht, der zum Test des Sensors genutzt wird. Dadurch können Bauelemente eingespart werden und es ergibt sich eine kostengünstige Herstellung. Vorteilhafterweise hat der Sensor ein Aktorelement zur Erzeugung der zweiten Schwingung, die den Testsignalanteil verursacht, und die Vorrichtung hat bevorzugt Mittel zur Anregung der Struktur in einer zweiten Schwingungsmoden, die sich einer ersten Schwingungsmoden, die der Erfassung der Meßgröße dient, überlagert. Dadurch können definierte Testsignale aufmoduliert werden und das Sensorausgangssignal kann nach Meßgröße und Antwort des Systems auf das Testsignal ausgewertet werden.

Bevorzugt wird das Ausgangssignal durch eine Einrichtung zur Frequenz- und/oder Phasenanalyse analysiert. Durch Mittel zum periodischen Verändern der Amplitude und/oder Frequenz des Testsignals kann ein Test über den gesamten Meß- und/oder Dynamikbereich des Sensors erfolgen. Insbesondere kann der Sensor ein Drehraten-, Beschleunigungs- oder Drucksensor sein.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Selbsttest eines Sensors mit einer schwingfähigen Struktur umfaßt die Schritte:

Überlagern einer ersten Schwingung der Struktur, die zur Erfassung einer Meßgröße dient, mit einer zweiten periodischen Schwingung; Erfassen eines Ausgangssignals, das Informationen über die Meßgröße enthält, die an die schwingende Struktur koppelt; und Überwachen eines im Ausgangssignal enthaltenen Testsignalanteils, der durch die zweite periodische Schwingung der Struktur erzeugt wird.

Bevorzugt wird dabei ein Anregungssignal zur Erzeugung der ersten Schwingung der Struktur durch ein Testsignal amplitudenmoduliert, das während des Meßbetriebs des Sensors in seiner Frequenz und/oder Amplitude variiert werden kann. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann die vollständige Funktion des Sensors inklusive Elektronik über den gesamten Dynamikbereich verifiziert werden. Durch das Verfahren wird eine hohe Eigensicherheit des Sensors erreicht, was insbesondere bei sicherheitsrelevanten Anwendungen von Bedeutung ist.

Die Erfindung wird nachfolgend beispielhaft anhand der Figuren beschrieben, in denen

Fig. 1 eine Ansicht eines mikromechanischen Drehratensensors als bevorzugte Ausführungsform der Erfindung zeigt;

Fig. 2 eine Schaltung zum Selbsttest durch Simulation ei-

ner Umwucht zeigt;

Fig. 3 eine Schaltung zum Selbsttest durch Simulation einer Drehrate zeigt; und

Fig. 4 einen Beschleunigungssensor als weitere Ausführungsform der Erfindung zeigt.

Der in Fig. 1 gezeigte Sensor 1 ist ein Drehratensensor nach dem Stimmgabelprinzip, der aus Silizium gefertigt ist. Zwei parallel zueinander ausgerichtete Zinken 2a, 2b bilden eine schwingfähige Struktur bzw. Resonanzstruktur, die zur Erfassung einer Drehrate dient. Auf dem oberen Zinken 2a ist eine Doppel­elektrode 3a, 3b angeordnet, die unter anderem zur Anregung der Zinken 2a, 2b zu einer periodischen Schwingung in Z-Richtung dient. Eine Stimmgabelaufhängung 4 ist als Torsionsbalken ausgebildet, an dem ein piezoresistives Element 5 befestigt ist. Das piezoresistive Element 5 dient zur Erzeugung eines Ausgangssignals, das bei einer Torsion der Stimmgabelaufhängung 4 erzeugt wird. Die Torsion wird aufgrund der Corioliskraft periodisch verursacht, wenn sich der Drehratensensor um die durch die Stimmgabelaufhängung verlaufende X-Achse dreht, während die Zinken 2a, 2b in Z-Richtung schwingen. Das piezoresistive Element 5 dient, zusammen mit einer nachgeschalteten Elektronik­einheit, auch zur Erfassung und Abtrennung eines Testsignalanteils vom Ausgangssignal, der durch eine weitere periodische Schwingung der Zinken erzeugt wird.

Die der ersten Schwingung überlagerte weitere periodische Schwingung kann z. B. dadurch zustande kommen, daß der Sensor 1 eine Unwucht hat, die z. B. durch eine Asymmetrie der schwingenden Massen verursacht ist. In diesem Fall weist der Sensor 1 ein mechanisches Übersprechen auf, dessen Signalanteil im Ausgangssignal dem eigentlichen Nutzsignal bzw. Drehratensignal überlagert ist und als Testsignalanteil genutzt wird.

Andererseits können die Zinken 2a, 2b auch durch die Doppel­elektrode 3a, 3b zu einer weiteren Schwingung bzw. einer Torsionsschwingung angeregt werden, die sich der Anregungsschwingung in Z-Richtung überlagert und den Testsignalanteil im Ausgangssignal ergibt. In der Nähe des Torsionsbalkens 4 befindet sich auf dem oberen Zinken 2a ein weiteres piezoresistives Element 6, mit dem die Zinkenschwingung in Z-Richtung registriert bzw. die Amplitude dieser Schwingung überwacht wird.

Im Meßbetrieb schwingen die Zinken 2a, 2b gegenphasig in Z-Richtung. Bei einer Drehung des Systems um die X-Achse wird durch das piezoresistive Element 5 am Torsionsbalken eine Torsionsschwingung registriert, die um 90° phasenverschoben zur Zinkenamplitude ist. Aufgrund von Fertigungstoleranzen oder beabsichtigten Asymmetrien wird durch das piezoresistive Element 5 ein weiteres Meßsignal generiert, das von der Drehrate unabhängig ist und bei Sensoren mit genügendem Frequenzabstand zwischen der Eigenfrequenz der Torsion und der Eigenfrequenz der Anregung eine Phasenverschiebung von 90° gegenüber dem eigentlichen Meßsignal bzw. Drehratensignal aufweist. Dieser Signalanteil, der durch das mechanische Übersprechen generiert wird, wird in einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung als Testsignalanteil verwendet und zum Selbsttest des Sensors ausgewertet.

Aufgrund der Phasenverschiebung des Testsignalanteils, d. h. des Anteils am Ausgangssignal, der durch das mechanische Übersprechen erzeugt wird, kann der Testsignalanteil aus dem Ausgangssignal abgetrennt und ausgewertet bzw. überwacht werden. Bei einer Abweichung des Testsignalanteils von einem bestimmten Wert, der für den Sensor charakteristisch ist, erfolgt eine Fehlermeldung.

Ein derartiges mechanisches Übersprechen des Sensors 1 kann aber auch simuliert werden, ohne daß Asymmetrien im Sensor vorhanden sind. Dazu werden die beiden Elektroden

3a, 3b durch ein weiteres Signal gegenphasig angesteuert, so daß die Zinken 2a, 2b eine Torsionsschwingung um die X-Achse ausführen, die der Zinkenschwingung in Z-Richtung überlagert ist. Die Doppel­elektrode 3a, 3b wird also mit einem zusätzlichen periodischen Signal angesteuert, das dem Anregungssignal zur Erzeugung der Zinkenschwingung in Z-Richtung überlagert ist, wobei beide Signale in Phase sind. Somit erfolgt die Anregung durch das zusätzliche Signal auf eine Weise, daß sein Anteil im Ausgangssignal des piezoresistiven Elements 5 um 90° zur Phase des bei einer Drehrate erzeugten Nutzsignals verschoben ist. Es wird also ein Testsignal auf das Signal zur Anregung der Zinkenschwingung in Z-Richtung aufmoduliert, das Ergebnis zum Anregungssignal addiert, und das Sensorausgangssignal wird hinsichtlich der Antwort des Systems auf das Testsignal und gleichzeitig hinsichtlich der Meßgröße ausgewertet.

Auch beim simulierten Übersprechen wird also ausgenutzt, daß der im Ausgangssignal enthaltene Testsignalanteil gegenüber dem im Ausgangssignal enthaltenen Nutzsignalanteil um 90° phasenverschoben ist. Dieses Selbsttestverfahren hat den Vorteil, daß es aufgrund der Phasenselektivität zur Drehrate im Frequenzbereich des Testsignals zu keinen Überlagerungen mit dem Meßsignal kommen kann. Durch Veränderung der Amplitude des Testsignals kann der Selbsttest im gesamten Meßbereich des Sensors durchgeführt werden, während der Sensor ein Meßsignal bzw. Drehratensignal liefert.

Mit dem in Fig. 1 gezeigten Stimmgabel-Drehratensensor kann ein weiteres Selbsttestverfahren durchgeführt werden, bei dem durch das Testsignal eine Drehrate simuliert wird, d. h., die Anregungsschwingung wird mit einem Signal moduliert, das einer Drehrate entspricht. Die Modulation mit dem drehratenäquivalenten Signal kann erreicht werden, indem das Ausgangssignal der Amplitudenüberwachung der in Z-Richtung schwingenden Zinken 2a, 2b, das mit dem piezoresistiven Element 6 gemessen wird, mit dem periodischen Testsignal amplitudenmoduliert wird. Das amplitudenmodulierte Signal wird dann mit dem periodischen Ansteuersignal zur Erzeugung der Schwingung der Zinken 2a, 2b in Z-Richtung addiert. Beide Signale sind dabei um 90° zueinander phasenverschoben. Dies hat im Sensor 1 ein auf den Torsionsbalken 4 wirkendes Drehmoment zur Folge, welches einer Drehrate entspricht, die sich mit der Testfrequenz des Testsignals ändert. In diesem Fall ist der im Ausgangssignal des piezoresistiven Elements 5 enthaltene Testsignalanteil durch Bandpaßfilterung zu rekonstruieren. Wie bei der Simulation des mechanischen Übersprechens wird auch bei der Simulation einer Drehrate der im Ausgangssignal enthaltene Testsignalanteil mit dem Testsignal verglichen, das dem Sensor über die Doppel­elektrode 3a, 3b zugeführt wird. Das Sensorausgangssignal wird hinsichtlich der Meßgröße, in diesem Fall die zu erfassende Drehrate, und gleichzeitig hinsichtlich der Antwort des Systems auf das Testsignal ausgewertet.

Durch Variation der Amplitude des aufmodulierten Testsignals und Vergleich mit dem rekonstruierten Testsignalanteil im Ausgangssignal ist ein vollständiger Selbsttest des Sensors möglich, der sich über seinen gesamten Meßbereich erstreckt. So ist beispielsweise bei einer kleinen Amplitude der mittels der Doppel­elektrode 3a, 3b erzeugten Torsionsschwingung ein Test des Sensors im Meßbereich kleiner Drehraten möglich, während bei einer großen Amplitude der künstlich erzeugten Torsionsschwingung ein Selbsttest des Sensors im Meßbereich relativ hoher Drehraten erfolgt. Durch Modulation der Amplitude desjenigen Signals, das über die Doppel­elektrode 3a, 3b die Drehschwingung der Zinken 2a, 2b erzeugt, die sich der Anregungsschwingung

der Zinken 2a, 2b in Z-Richtung überlagert, wird der Meßbereich des Sensors beim Selbsttest ständig durchschritten.

Durch Variation der Testfrequenz des aufmodulierten Testsignals wird zusätzlich auch der gesamte Dynamikbereich des Sensors beim Selbsttest durchschritten. Bei der Modulation mit einem drehratenäquivalenten Signal ist jedoch darauf zu achten, daß die Frequenz des aufmodulierten Testsignals, d. h. die Testfrequenz, außerhalb des Frequenzspektrums der zu messenden Drehrate liegt. Ist das Frequenzspektrum der Drehrate nicht bekannt oder ist es nicht möglich, ein Testsignal zu wählen, das sich in der Frequenz von der zu messenden Drehrate unterscheidet, kann das mechanische Übersprechen wie oben beschrieben simuliert werden.

Fig. 2 zeigt eine Schaltung für einen Stimmgabel-Drehratensensor, mit der eine Unwucht des Sensors simuliert wird um den Selbsttest durchzuführen. Die Schwingung der Zinken 2a, 2b wird in ihrer Amplitude durch das piezoresistive Element 6 auf dem oberen Zinken 2a gemessen und über einen Vorverstärker 17 und einen 90° Phasenschieber 13 der Doppel­elektrode 3a, 3b zugeführt, um eine resonante Schwingung der Zinken 2a, 2b in Z-Richtung zu erzeugen. Eine Amplitudenregelung 14, die einem Bandpaßfilter 16 nachgeschaltet ist, steuert dabei die Amplitude dieser Anregungsschwingung, bei der die beiden Zinken 2a, 2b parallel zueinander ausgerichtet sind. Das durch das piezoresistive Element 5 am Torsionsbalken 4 erzeugte Ausgangssignal wird nach Durchlaufen eines Vorverstärkers 26 und eines Bandpaßfilters 27 einem Multiplizierer 21 zugeführt, der den Nutzsignalanteil, d. h. den Anteil des Meßsignals, der durch eine Drehung des Systems um die X-Achse erzeugt wird, herausfiltert. Dieser Nutzsignalanteil ist in der Phase um 90° gegenüber der Zinkenschwingung in Z-Richtung verschoben. Somit ergibt sich durch einen Phasenschieber 22 und den Multiplizierer 21 der Nutzsignalanteil aus dem Ausgangssignal des Sensors.

Ein Signalgenerator 30 erzeugt ein periodisches Testsignal der Frequenz  $f_{\text{Test}}$ , das mit einem Multiplizierer 31 auf das Signal zur Anregung der Zinkenschwingung in Z-Richtung aufmoduliert wird. Durch einen Verstärker 32 werden gegenphasige Signale erzeugt, die durch Addierer 33a, 33b mit den Signalen zur Anregung der Zinkenschwingung in Z-Richtung addiert und der Doppel­elektrode 3a, 3b zugeführt werden. Somit ergibt sich eine Schwingung der Zinken 2a, 2b mit konstanter Amplitude in Z-Richtung, der eine Torsionsschwingung der Zinken um die X-Achse überlagert ist. Die so erzeugte Torsionsschwingung hat die gleiche Frequenz wie die Anregungsschwingung in Z-Richtung und eine Amplitude, die sich periodisch mit der Testfrequenz-Test ändert. Die Testfrequenz kann auch Null sein, so daß die Amplitude der zusätzlichen Torsionsschwingung konstant ist.

Die durch die gegenphasige Ansteuerung der Doppel­elektrode 3a, 3b erzeugte Torsionsschwingung wird mit einem Signal angeregt, das gleichphasig mit dem Signal zur Anregung der Zinkenschwingung in Z-Richtung ist. Der im Ausgangssignal des piezoresistiven Elements 5 enthaltene Testsignalanteil ist daher um 90° phasenverschoben zum Nutzsignalanteil aufgrund einer gemessenen Drehrate und gleichphasig mit der Anregungsschwingung der Zinken 2a, 2b in Z-Richtung, die mit dem piezoresistiven Element 6 gemessen wird. Aus diesem Grund wird mit einem Multiplizierer 41 derjenige Anteil aus dem Ausgangssignal des Sensors herausgefiltert, der mit der Zinkenschwingung gleichphasig verläuft. Dieser Anteil des Ausgangssignals, der eine simulierte Unwucht des Sensors anzeigt, wird über einen Bandpaßfilter 45 der Selbsttestarbitrierung 43 zugeführt, die die Amplitude des Testsignals mit der Amplitude des Testsi-

gnalanteils im Ausgangssignal des Sensors vergleicht. Diese Amplituden stehen in einer festen Beziehung zueinander, die z. B. im Labor festgestellt werden kann und bei einem funktionsfähigen Sensor eine feste Funktion bildet. Falls der Sensor oder ein Teil der Elektronik gestört ist, erfolgt eine Abweichung des Amplitudenverhältnisses vom Sollwert und es wird eine Fehlermeldung generiert.

Die Amplitude des periodischen Testsignals wird durch das Element 37 zusätzlich noch sägezahnartig periodisch verändert. Hierdurch ergibt sich über den gesamten Meßbereich eine besonders genaue Fehlererkennung, da die Selbsttestamplitude über den gesamten Meßbereich angepaßt wird.

Fig. 3 zeigt eine Schaltung, durch die zur Durchführung des Selbsttests eine Drehrate simuliert wird. Elemente mit gleicher Funktion sind mit denselben Bezugszeichen wie in Fig. 2 bezeichnet. Die Anregung der Zinkenschwingung erfolgt wie bei der in Fig. 2 gezeigten Schaltung über den Vorverstärker 17, den Phasenschieber 13, die Amplitudenregelung 14 und die Addierer 33a, 33b. Das Signal zur Anregung der Zinkenschwingung in Z-Richtung läuft um 90° gegenüber der Zinkenschwingung selbst voraus. Die mit dem piezoresistiven Element 5 erfaßte Torsion des Torsionsbalkens 4 erfolgt bei einer Drehung des Systems jedoch um 90° phasenverschoben zur Zinkenamplitude. Daher wird der um 90° zur Zinkenamplitude verschobene Anteil des Ausgangssignals durch den Phasenschieber 22 und den Multiplizierer 21 herausgefiltert und ergibt nach Durchlaufen des Tiefpasses 23 ein Maß für die Drehrate des Systems.

Der Signalgenerator 30 erzeugt das Testsignal mit der Frequenz-Test, das mit Hilfe des Multiplizierers bzw. AM-Modulators 31 auf das Amplitudenmonitorsignal, das durch das piezoresistive Element 6 gemessen wird, aufmoduliert wird. Im Gegensatz zu der oben in Fig. 2 gezeigten Schaltung wird also das nicht-phasenverschobene Signal der Zinkenschwingung mit dem Testsignal moduliert. Über die weiteren Multiplizierer 36 werden gegenphasige Signale erzeugt, die durch die Addierer 33a, 33b mit dem Amplitudenregelungssignal zur Anregung der Zinkenschwingung in Z-Richtung addiert und den beiden Elektroden 3a, 3b zugeführt werden. Dadurch wird die Wirkung einer Drehrate simuliert. Das Ausgangssignal des Sensors wird hinsichtlich des aufmodulierten Testsignals mit der Frequenz-Test untersucht. Hierzu durchläuft ein Anteil des Ausgangssignals einen Bandpaßfilter 45 und wird anschließend der Selbsttestarbitrierung 43 zugeführt. Um den Testsignalanteil im Ausgangssignal vom Nutzsignalanteil zu trennen, muß im Fall einer simulierten Drehrate die Testfrequenz  $f_{\text{Test}}$  außerhalb des Frequenzbereichs der Meßgröße bzw. Drehrate liegen.

Die zweite Schwingungsmoden des Sensors, d. h. die künstlich erzeugte Torsionsschwingung der Zinken 2a, 2b ist in ihrer Amplitude entsprechend dem Meßbereich des Sensors moduliert. Über das Element 37 wird die Amplitude des aufgeprägten periodischen Testsignals noch zusätzlich sägezahnartig periodisch verändert, um einen möglichst genauen Selbsttest bei den verschiedenen Meßbereichen zu erhalten. Wie im in Fig. 2 gezeigten Fall erfolgt ein Vergleich der Amplitude des Testsignalanteils mit der Selbsttestamplitude um einen Fehler im Sensor oder in der dahintergeschalteten Elektronik festzustellen.

Zusätzlich kann im Sensor 1 ein Unwuchtabgleich 61 vorgesehen sein, der über einen Verstärker 62 und Multiplizierer 63 dafür sorgt, daß durch eventuelle Fehlertoleranzen keine zusätzlichen Schwingungsmoden erzeugt werden.

Der hier gezeigte Stimmgabel-Drehratensensor ist eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung. Allgemein ist die Erfindung auf Systeme anwendbar, bei denen

eine Meßgröße über eine schwingende Struktur bzw. Resonanzstruktur erfaßt wird. Dabei gibt es eine Vielzahl von Anwendungen, wie z. B. Beschleunigungssensoren, Drucksensoren oder auch Gimbal-Drehratensensoren.

Fig. 4 zeigt als Beispiel schematisch einen Beschleunigungssensor 10, bei dem eine Masse 11 an einem Balken 12 befestigt ist. Zur Messung einer Beschleunigung des Sensors 10 in X-Richtung wird der Balken 12 zu einer Schwingung in Z-Richtung angeregt. Bei einer auftretenden Beschleunigung in X-Richtung verändert sich die Spannung des Balkens 12, so daß sich die Frequenz der Schwingung der Masse in Z-Richtung ändert und ein Maß für die Beschleunigung darstellt. Um einen Selbsttest dieses Sensors durchzuführen, wird im Balken 12 eine zweite Schwingungsmoden erzeugt, die sich der ersten Schwingungsmoden, die dem Erfassen der Beschleunigung dient, überlagert. Dazu wird der Balken 12 zu Biegeschwingungen in Y-Richtung angeregt. Durch ein piezoresistives Element 15 werden die Schwingungen des Balkens 12 in beiden Schwingungsmoden erfaßt. Der Nutzsignalanteil wird durch Frequenz- und/oder Phasenanalyse vom Testsignalanteil, der die zweite Schwingungsmoden verursacht, getrennt. Der Testsignalanteil im Ausgangssignal kann somit überwacht werden, während der Beschleunigungssensor arbeitet bzw. eine Beschleunigung registriert.

In einer weiteren, hier nicht dargestellten Ausführungsform der Erfindung, ist der selbsttestfähige Sensor als Drucksensor realisiert. Bei dem Drucksensor wird eine Membran zu Schwingungen angeregt, um einen auf die Membran wirkenden Druck zu messen. Die Membranspannung ist vom Druck abhängig und beeinflusst die Frequenz der Resonanzschwingung. Somit kann über die schwingende Membran ein Druck gemessen werden. Um den Selbsttest durchzuführen, wird der Membran über eine Aktoreinheit eine weitere Schwingung aufmoduliert, d. h. es überlagern sich zwei Schwingungsmoden der Membran. Das Ausgangssignal der Membranschwingung wird hinsichtlich Frequenz und/oder Phase analysiert, um den Anteil vom Ausgangssignal abzutrennen, der durch die überlagerte zweite Schwingungsmoden der Membran erzeugt wird. Auch hier läßt sich durch Vergleich der Amplitude des Testsignals mit der Amplitude des im Ausgangssignal enthaltenen Testsignalanteils ein Selbsttest des Sensors ohne Unterbrechung des Meßsignals durchführen.

Die Aktorelemente zur Erzeugung der Schwingungen sind nicht auf Elektroden beschränkt. Die Anregung kann auf vielfältige Weise, insbesondere z. B. durch elektrostatische, piezoelektrische oder auch thermisch wirkende Elemente erfolgen. Ebenso bilden piezoresistive Elemente nur eine Möglichkeit der Erfassung der verschiedenen Schwingungsmoden der Sensoren. Auch hier kann z. B. eine elektrostatische bzw. kapazitive oder induktive Auslesung erfolgen. Der selbsttestfähige Sensor bzw. die Vorrichtung und das Verfahren zum Selbsttest eines Sensors ermöglichen einen sogenannten ongoing Selbsttest ohne Unterbrechung bzw. Beeinträchtigung des Meßsignals, wobei der Test über den gesamten Meß- und/oder Dynamikbereich des Sensors durch Variation von Amplitude und/oder Frequenz des aufmodulierten Testsignals erfolgen kann.

Allgemein läßt sich die Erfindung auch z. B. anhand eines Drehratensensors wie folgt ausführen:

Während des Betriebes des Drehratensensors wird neben der 1. Mode auch die 2. Mode des Systems direkt angeregt, und zwar mit einem Signal, das an die Auslenkung der 1. Mode gekoppelt und zusätzlich mit einem alternierenden Testsignal amplitudenmoduliert ist.

Das Signal für die Bewegung des Systems in der 2. Mode enthält damit neben dem eigentlichen Meßsignal aufgrund

des Corioliseffekts, einen Anteil der durch das Testsignal erzeugt wird. Der Meßanteil und der Testanteil des Signals für die Bewegung des Systems in der 2. Mode können anschließend durch Frequenz- und/oder Phasenanalyse voneinander getrennt werden. Anschließend wird geprüft, ob der Zusammenhang zwischen dem Testsignalanteil in der 2. Mode und dem Testsignal selbst, vorgegebene Bedingungen erfüllt. Falls das nicht zutrifft, gibt der Sensor eine Fehlermeldung ab.

Dabei ist die Anregung der 2. Mode in Phase mit der Bewegung der 1. Mode, aufgenommen z. B. durch Sensoren an Federn. Der Coriolisanteil der 2. Mode hingegen ist um 90° phasenverschoben im Vergleich zur Bewegung der 1. Mode.

#### Patentansprüche

1. Sensor, mit einer schwingfähigen Struktur (2a, 2b; 11) zur Erfassung einer Meßgröße; einer Aktoreinheit (3a, 3b) zur Anregung der Struktur (2a, 2b) zu einer ersten periodischen Schwingung; und einem Element (5; 15) zur Erzeugung eines von der Meßgröße abhängigen Ausgangssignals, gekennzeichnet durch Mittel (5, 15, 41; 45) zur Erfassung und/oder Abtrennung eines Testsignalanteils vom Ausgangssignal, der durch eine der ersten Schwingung überlagerte zweite periodische Schwingung der Struktur (2a, 2b; 11) erzeugt wird.
2. Sensor nach Anspruch 1, weiterhin gekennzeichnet durch eine Einrichtung (30, 31) zum Aufmodulieren eines Testsignals auf ein Signal zur Anregung der Struktur (2a, 2b; 11).
3. Sensor nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet durch eine mechanische Unwucht und/oder ein Aktorelement (3a, 3b) zur Erzeugung der zweiten Schwingung, die den Testsignalanteil verursacht.
4. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Abtrennung (41; 45) eine Einrichtung (41; 45) zur Frequenz- und/oder Phasenanalyse des Ausgangssignals umfassen.
5. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin gekennzeichnet durch Mittel (30, 37) zum periodischen Verändern der Amplitude und/oder Frequenz des Festsignals.
6. Sensor nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er ein Drehratensensor, ein Beschleunigungssensor, oder ein Drucksensor ist.
7. Vorrichtung zum Selbsttest eines Sensors, der eine Meßgröße über eine schwingfähige Struktur (2a, 2b; 11) erfaßt und in Abhängigkeit von der Meßgröße ein periodisches Ausgangssignal erzeugt, gekennzeichnet durch Mittel zur Abtrennung (41; 45) eines Testsignalanteils, der einem Nutzsignalanteil überlagert ist, aus dem periodischen Ausgangssignal des Sensors, und Vergleichsmittel (43) zum Vergleichen des Testsignalanteils mit einem vordefinierten Wert oder mit einem dem Sensor zugeführten Testsignal.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, weiterhin gekennzeichnet durch eine Einrichtung (30, 31) zum Aufmodulieren des Testsignals auf ein Signal zur Anregung der Struktur (2a, 2b; 11).
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, weiterhin gekennzeichnet durch Mittel (3a, 3b, 33a, 33b) zur Anregung der Struktur (2a, 2b; 11) in einer zweiten Schwingungsmoden, die sich einer ersten Schwingungsmoden, die der Erfassung der Meßgröße dient, überlagert.
10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittel zur Abtrennung (41, 45) eine Einrichtung zur Frequenz- und/oder Pha-

senanalyse des Ausgangssignals aufweisen.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 10, weiterhin gekennzeichnet durch Mittel (30, 37) zum periodischen Verändern der Amplitude und/oder Frequenz des Testsignals.

5

12. Verfahren zum Selbsttest eines Sensors mit einer schwingfähigen Struktur (2a, 2b; 11), gekennzeichnet durch die Schritte:

Überlagern einer ersten Schwingung der Struktur (2a, 2b; 11), die zur Erfassung einer Meßgröße dient, mit einer zweiten periodischen Schwingung;

10

Erfassen eines Ausgangssignals, das Informationen über die Meßgröße enthält, die an die schwingende Struktur (2a, 2b; 11) koppelt; und

Überwachen eines im Ausgangssignal enthaltenen Testsignalanteils, der durch die zweite periodische Schwingung der Struktur (2a, 2b; 11) erzeugt wird.

15

13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein Anregungssignal für die Struktur (2a, 2b; 11) durch ein Testsignal moduliert wird.

20

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß die zweite periodische Schwingung der Struktur (2a, 2b; 11) durch eine mechanische Kopplung oder ein mechanisches Übersprechen des Sensors erzeugt wird.

25

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß das Ausgangssignal einer Frequenz- und/oder Phasenanalyse unterzogen wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß das Testsignal während des Meßbetriebs des Sensors in seiner Frequenz und/oder Amplitude variiert wird.

30

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

Fig. 1

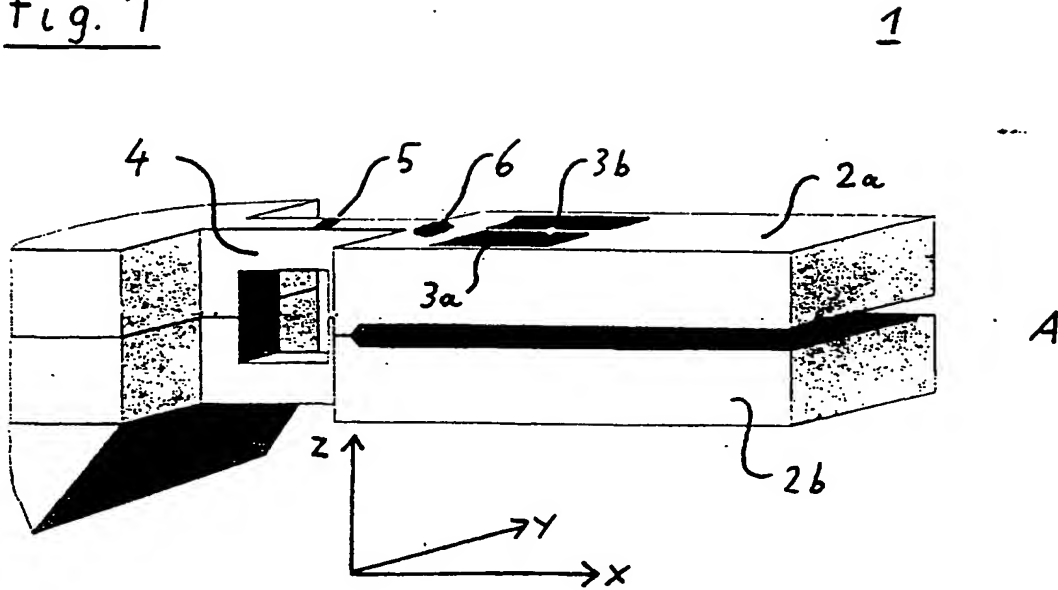


Fig. 4

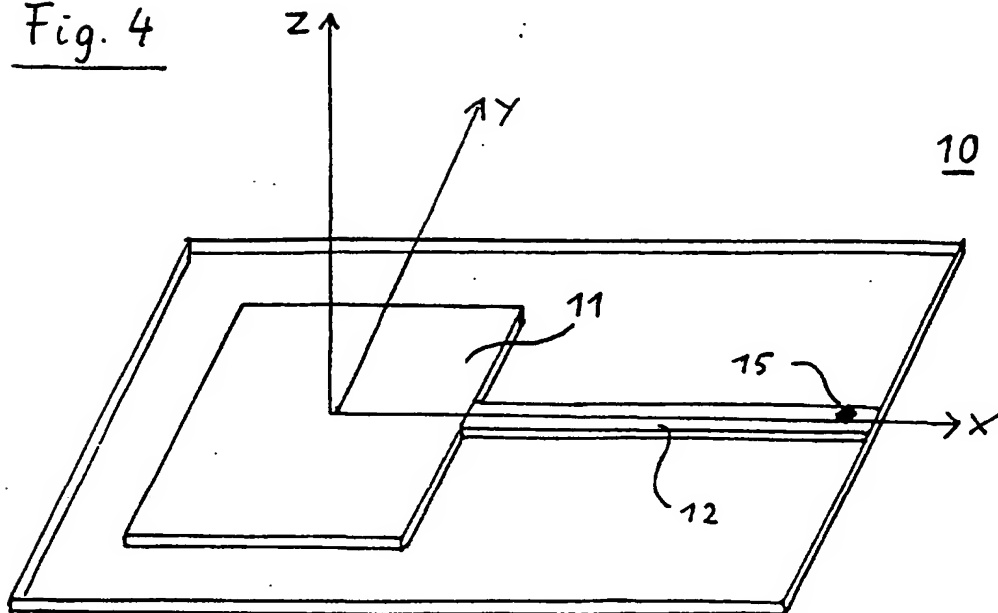




Fig. 2

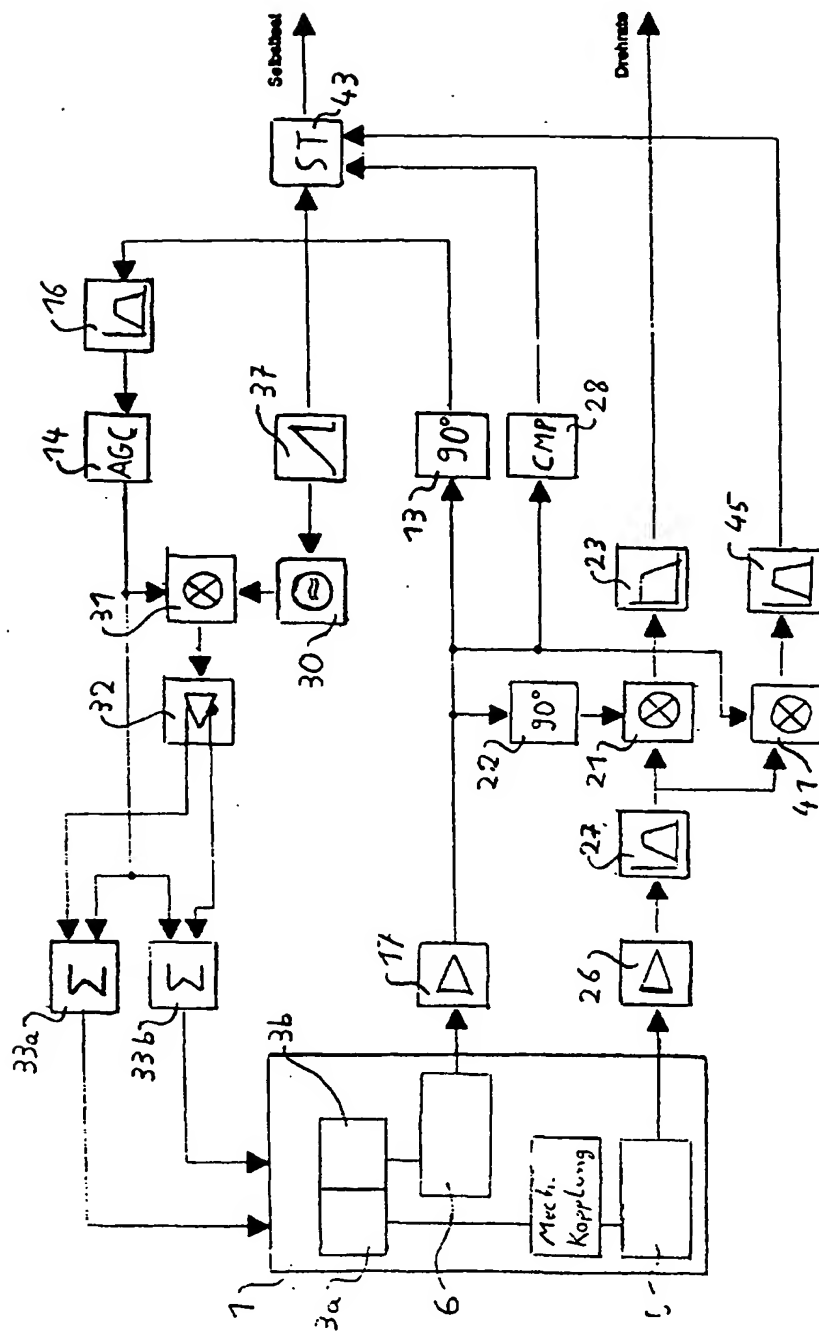


Fig. 3

